

# COMUNICADO TÉCNICO

Nº 35, set/2000, p.1-6

## USO DA ESPECTROSCOPIA E TOMOGRAFIA DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA PARA MONITORAR O AMADURECIMENTO E FATORES DE QUALIDADE EM MANGA E MAMÃO

Clovis I. Biscegli<sup>1</sup>  
Roberto W. A. Franco<sup>1</sup>  
Alberto Tannus<sup>2</sup>  
Antonio S. Nascimento<sup>3</sup>  
Luiz A. Colnago<sup>1</sup>

A determinação do estágio de maturação de frutos pós-colheita e a avaliação de sua qualidade têm grande importância econômica em fruticultura. A busca de qualidade requer técnicas seguras, rápidas e não-destrutivas para a medida de algumas propriedades físicas dos frutos. Uma forma não-destrutiva de avaliação dos sólidos solúveis (açúcares) pode ser um fator no controle de qualidade de frutas, pois esse fator está correlacionado com o processo de amadurecimento da maioria das frutas (Cho et al., 1991).

A espectroscopia por ressonância magnética aplicada em frutas frescas constitui um método não-invasivo capaz de fornecer informações sobre os estados químico e físico dos frutos, bem como sobre o estado fisiológico e as condições de seu metabolismo, sem qualquer extração ou destruição da amostra. O sinal obtido é proporcional à quantidade de prótons no seu ambiente químico, e no caso de frutas são predominantemente detectados os prótons de hidrogênio presentes na água e nos açúcares. As frutas sofrem diversas mudanças durante o processo de maturação. A mobilidade dos prótons de hidrogênio da água, açúcares e de outras substâncias também se altera. Adicionalmente, a concentração e mobilidade da água e açúcares nas frutas estão frequentemente associadas com muitos outros fatores de qualidade, como danos mecânicos, rachadura da casca, podridão, vazios, infestação por moscas-das-frutas e danos causados por frigoconservação.

Considerando que a espectroscopia por ressonância magnética pode detectar variações na concentração, mobilidade e difusão da água e açúcares, ela tem enorme potencial para monitorar fatores de qualidade em frutas. Um típico espectro de hidrogênio de frutas apresenta uma linha intensa e larga, correspondente aos núcleos da molécula de água, e superposta à linha da água é observado o conjunto de linhas dos sólidos solúveis, essencialmente constituído por açúcares.

<sup>1</sup>Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP

<sup>2</sup>Instituto de Física de São Carlos - USP, Caixa Postal 369, CEP 13560-970, São Carlos, SP

<sup>3</sup>Embrapa Mandioca e Fruticultura, Caixa Postal 007, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA

Considerando que os parâmetros da ressonância magnética da água em alimentos são dependentes de sua arquitetura celular, as mudanças que afetam a estrutura, e portanto sua qualidade, podem ser detectadas por tomografia por ressonância magnética. Especificamente, mudanças de textura provocadas pelo amadurecimento de uma fruta devem ser observadas como alterações no ambiente molecular da água, podendo constituir parâmetros para aferir a qualidade de frutos mediante as alterações morfológicas observáveis em imagens de tomografia (Biscegli et al., 1999; Nascimento et al., 1999; Biscegli et al., 2000). O trabalho visou estudar a possibilidade de se conhecer a concentração de sólidos solúveis em frutos de manga e mamão, sem a destruição dos mesmos, com o uso da espectroscopia por ressonância magnética.

As amostras utilizadas neste trabalho são frutos de mamão da variedade Sunrise Solo (*Carica papaya* L.) e manga da variedade Tommy Atkins (*Mangifera indica* L.), em diversos estádios de maturação, adquiridos no comércio local de São Carlos, SP. Foram realizadas análises de amostras líquidas, com os sucos das frutas, no espectrômetro de ressonância magnética nuclear Varian Inova 400MHz, observando os núcleos de hidrogênio. As amostras foram colocadas em tubos de vidro com 4mm de diâmetro interno e giradas com frequência de 20Hz durante a aquisição do espectro. No espectro, as linhas correspondentes a água e aos açúcares se encontram próximas (1ppm ou 400Hz), sendo necessário utilizar uma seqüência de pulsos especial para suprimir a linha correspondente à água para então evidenciar as linhas dos açúcares. As áreas dos espectros de ressonância magnética foram correlacionadas aos teores de sólidos solúveis (essencialmente açúcares), cuja medida foi realizada utilizando-se um refratômetro manual Atago N1.

Para a análise dos frutos intactos foi utilizado o tomógrafo Varian Inova 85MHz. Uma bobina de superfície com 2cm de diâmetro, colocada sobre os frutos, foi utilizada para a obtenção dos espectros de forma não-destrutiva. Neste caso, como a separação entre as linhas de água e açúcares corresponde a apenas 85Hz, foi necessário utilizar outra seqüência de pulsos para a supressão da linha correspondente à água (Mescher et al., 1996). Para a tomografia foi usada uma bobina do tipo "gaiola" ("birdcage"), com diâmetro interno de 14cm, na qual foram inseridos os frutos. Todas as medidas foram realizadas nos equipamentos instalados na Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, SP.

Na figura 1 pode-se observar a relação entre as áreas dos espectros de ressonância magnética de hidrogênio e o teor de sólidos solúveis (açúcares) medidos num intervalo de 9 a 13,5Brix. As amostras foram obtidas a partir de diversas partes dos frutos de mamão e manga, em diferentes estádios de maturação. Observa-se que a área sob as frações de açúcar no espectro aumenta linearmente com o teor Brix, sendo obtidos os fatores de correlação de 0,98 para o mamão e 0,94 para a manga. Foi observado ainda que a concentração de açúcar no mamão aumenta da casca para a semente e do pedúnculo para o ápice. Na manga esta concentração varia de forma inversa.

CT35, CNPDIA, set/2000, p.3

A boa correlação entre os espectros de ressonância magnética e o teor de açúcar, para o mamão e a manga, indica a possibilidade de se realizar tal medida de forma não-destrutiva. Assim, foi realizada espectroscopia de hidrogênios dos frutos intactos utilizando o tomógrafo. Porém, a supressão da linha correspondente à água não é feita de forma eficiente, se for utilizada a seqüência como no espectrômetro de 400MHz e isso porque, além da proximidade das linhas, no tomógrafo estas se apresentam mais largas devido ao maior volume amostrado e a conseqüente baixa homogeneidade de campo magnético, dificultando a separação das mesmas.

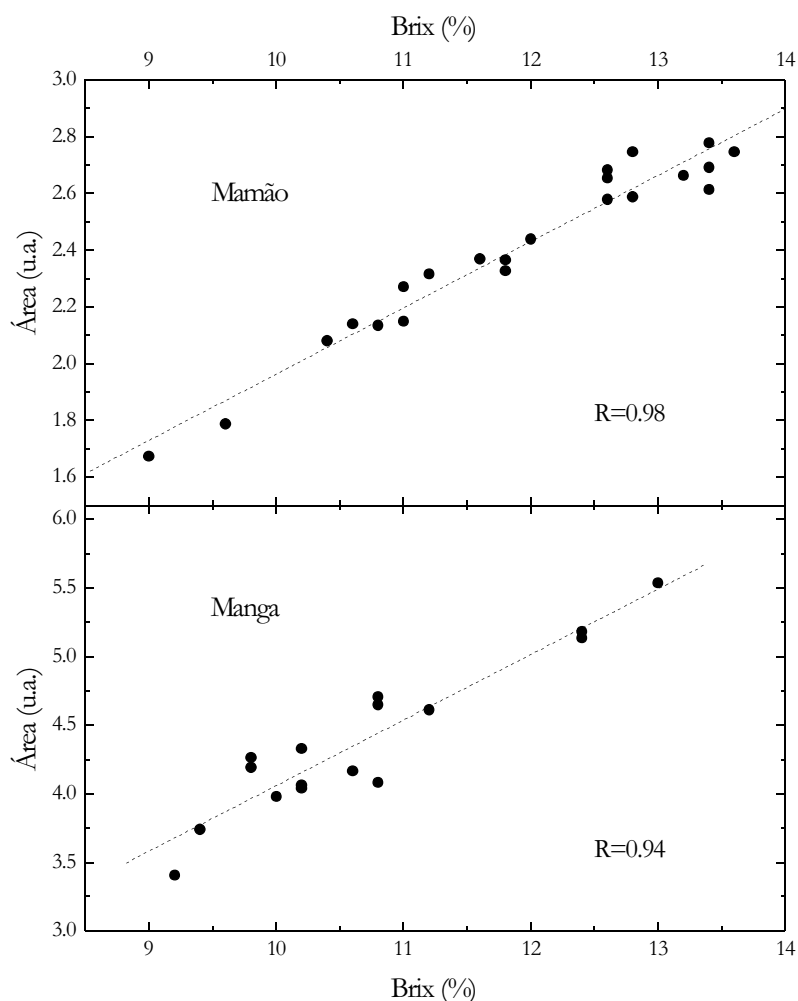


Figura 1. Correlação obtida por refratômetro entre a área do espectro de ressonância magnética dos açúcares e a concentração de sólidos solúveis.

Na figura 2 são apresentados os espectros de hidrogênio do mamão, obtidos no espectrômetro de 400MHz (2.a e 2.b) e no tomógrafo de 85MHz (2.c e 2.d). No tomógrafo, a aquisição dos dados foi realizada no ponto médio entre o pedúnculo e o ápice de um fruto intacto. Nos espectros (a) e (c) é mais evidente a linha intensa e larga em 4,7ppm, correspondente aos núcleos de hidrogênio da água. Nota-se o drástico aumento de largura de linha do espectro obtido no tomógrafo.

CT35, CNPDIA, set/2000, p.4

Utilizando as seqüências de pulsos de supressão de água adequadas para cada equipamento, observa-se nas figuras (2.b) e (2.d) as linhas dos sólidos solúveis, na região de 3,7ppm, sendo possível estimar sua área independentemente da interferência da linha da água. O alargamento provocado pela baixa homogeneidade de campo faz com que o conjunto de linhas dos sólidos solúveis observado no espectrômetro (2.b) seja detectado como uma única linha no tomógrafo (2.d). Conforme observado na figura (2c), as linhas da água e dos açúcares estão superpostas no fruto intacto, comprometendo a eficiência da supressão.

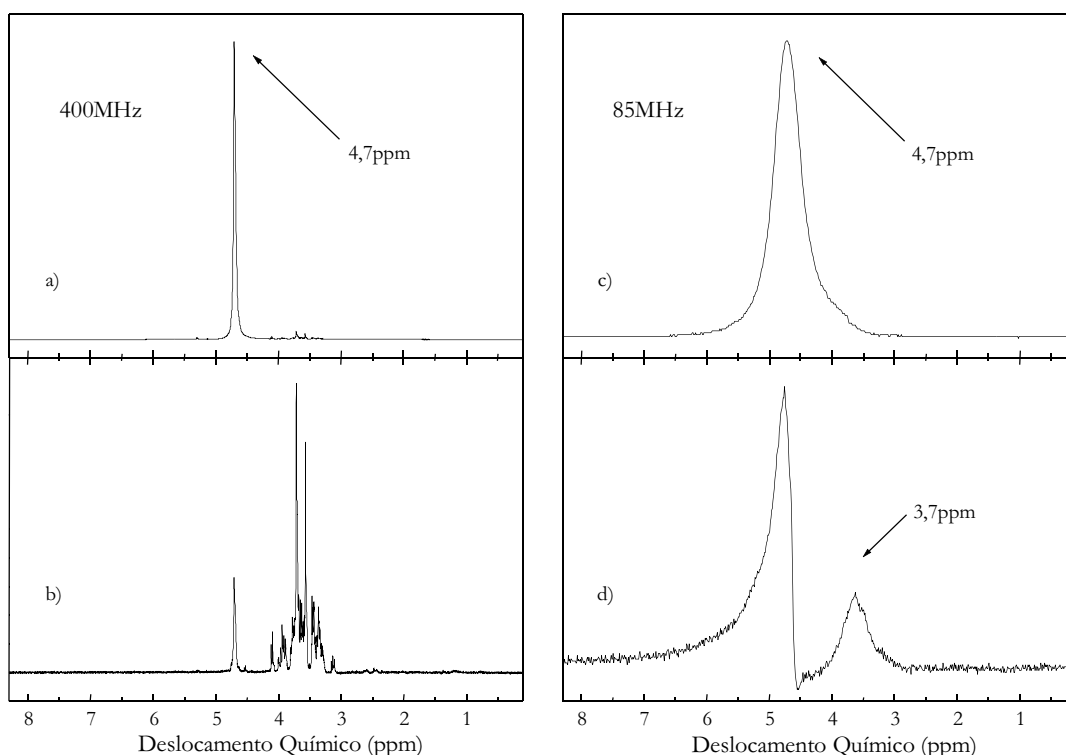


Figura 2. Espectros de ressonância magnética obtidos no espectrômetro de 400 MHz (a, b) e no tomógrafo de 85 MHz (c, d). Nos espectros (a) e (c) são mostradas as linhas correspondentes ao núcleos hidrogênio de água, na região de 4,7 ppm, enquanto nos espectros (b) e (d) foram suprimidas as linhas da água, evidenciando as linhas dos sólidos solúveis, na região de 3,7 ppm.

As imagens obtidas são observadas essencialmente a partir dos sinais dos núcleos de hidrogênios da água, que corresponde a pelo menos 93% da intensidade do espectro de hidrogênios dos frutos de mamão e manga. Na figura 3 são apresentadas imagens de uma camada sagital (3.a) e coronal (3.b) de um fruto de manga Tommy Atkins, que apresenta degenerescência dos tecidos em estágio avançado. Esse distúrbio fisiológico constitui a degenerescência dos tecidos na região entre o pedúnculo e o endocarpo. A região que apresenta tonalidade mais clara corresponde à porção da polpa que se encontra bastante flácida, enquanto as partes negras estão relacionadas a espaços vazios, onde não há núcleos para serem observados (Clark et al., 1997, Hall et al., 1998). Após a obtenção da imagem essa manga foi cortada, observando-se que essa parte da polpa apresentava uma cor escura.

CT35, CNPDIA, set/2000, p.5

Na parte saudável da fruta mostrada na figura 3, a região mais clara da imagem da polpa indica o aumento da concentração de açúcares, que é consequência da hidrólise de carboidratos de reserva. A diminuição da massa molecular implica o aumento da mobilidade das moléculas de água, proporcionando o aumento do tempo de relaxação spin-spin (T2), resultando numa tonalidade mais clara na imagem. Conforme mencionado anteriormente, o teor de açúcar na manga aumenta da semente para a casca e do pedúnculo para o ápice, isso porque, durante o desenvolvimento e amadurecimento da manga, ocorre o adoçamento próximo à casca devido ao acúmulo de açúcares originados pela fotossíntese. Na figura 3 nota-se que a porção da polpa mais próxima à casca é mais clara, enquanto a parte mais próxima à semente é mais escura. Outro parâmetro que altera a tonalidade da cor da polpa próxima à semente é a rigidez adicional que as moléculas dessa região adquirem devido à presença das fibras da semente. Este fator reduz o tempo de relaxação T2, resultando numa tonalidade mais escura.

Na imagem do corte sagital na manga (3.a) pode-se observar ainda, na parte direita superior, uma região mais clara próxima à casca, com aproximadamente um centímetro de comprimento. Esta parte da fruta possivelmente sofreu um choque mecânico, causando uma pequena lesão à polpa. Esse distúrbio fisiológico é visualizado por uma tonalidade clara, semelhante à tonalidade observada nos tecidos danificados devido à degenerescência da polpa (Sampaio et al., 1998).

Foram obtidas também imagens de mamão em diversos estádios de maturação, não sendo observadas mudanças significativas na textura da polpa dos frutos. Porém, o mamão não possui quantidades significativas de amido que possam ser convertidas em açúcares durante o amadurecimento, existindo controvérsias sobre um possível adoçamento pós-colheita. Assim, não era esperado que fossem detectadas alterações significativas de brilho na polpa do fruto resultantes de aumento da concentração de açúcares durante sua maturação (Gomes et al., 1999).

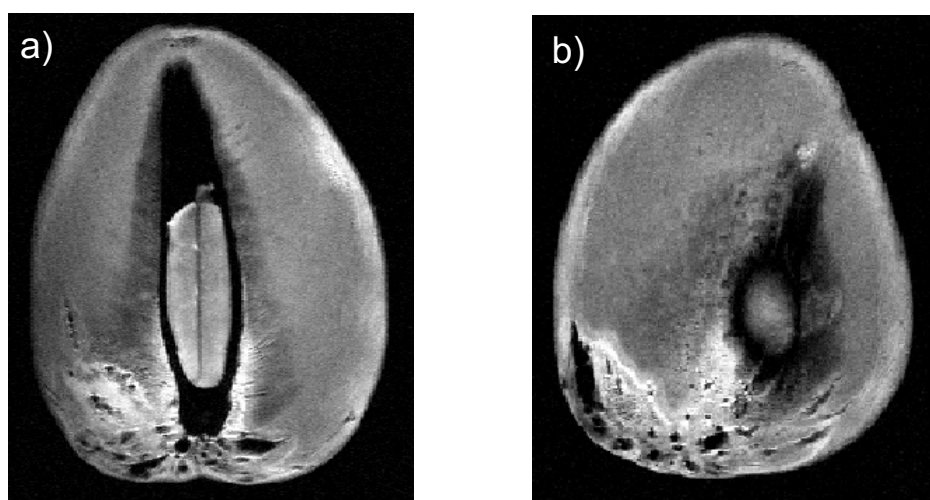


Figura 3. Tomografia de um fruto de manga da variedade Tommy Atkins, com imagens sagital (a) e coronal (b) apresentando os distúrbios fisiológicos devidos a lesão e degenerescência da polpa.

CT35, CNPDIA, set/2000, p.6

Foi comprovada a possibilidade de se avaliar a qualidade dos frutos de manga e mamão de forma não-destrutiva, mediante concentração de sólidos solúveis (açúcares) obtida por espectroscopia por ressonância magnética.

A tomografia por Ressonância Magnética pode ser usada para observar alterações fisiológicas associadas ao desenvolvimento dos frutos, bem como tratamentos pós-colheita, possibilitando o estudo de interações moleculares responsáveis por propriedades mecânicas e organolépticas dos frutos.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Rhae/CNPq Projeto IDAN (360256/99-6), Embrapa (12.0.98.816), FAPESP e FINEP-PADCT.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHO, S.I.; BELLON, V.; EADS, T.M.; STROSHINE, R.L.; KRUTZ, G.W. Sugar content measurement in fruit tissue using water peak suppression in high resolution <sup>1</sup>H magnetic resonance. *Journal of Food Science*, v.56, n.4, p.1091-1094, 1991.
- BISCEGLI, C.I.; CRESTANA, S. Aplicações da tomografia de ressonância magnética para avaliação não-destrutiva do interior de frutas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1., 1996, São Carlos, SP, 1996.
- NASCIMENTO, A.S.D.; BISCEGLI, C.I.; MENDONÇA, M.D.C.; CARVALHO, R.D.S. Avanços em tratamentos quarentenários para exportação de manga brasileira: tratamento hidrotérmico e tomografia de ressonância magnética. In: Exigências quarentenárias para exportação de frutas tropicais e subtropicais, Fortaleza, CE. Embrapa Agroindústria Tropical/CYTED/CONACYT, 1999.
- BISCEGLI, C.I.; FRANCO, R.W.A.; TANNÚS, A.; COLNAGO, L.A. Use of magnetic resonance imaging and spectroscopy in tropical fruits: challenges and opportunities. In: Workshop sobre Tomografia Reconstitutiva no Agronegócio, 2000, São Carlos, SP, 2000.
- CLARK, C.J.; HOCKINGS, P.D.; JOYCE, D.C.; MAZUCCO, R.A. Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v.11, p.1-21, 1997.
- HALL, L.D.; EVANS, S.D.; NOTT, K.P. Measurement of textural changes of food by MRI relaxometry. *Magnetic Resonance Imaging*, v.16, n.5/6, p.485-492, 1998.
- MESCHER, M.; TANNÚS, A.; O'NEIL JOHNSON, M.; GARWOOD, M. Solvent suppression using selective echo dephasing. *J. Magn. Reson*, v.A, n.123, p.226-229, 1996.
- SAMPAIO, V.R; SCARPARE FILHO, J.A. Ocorrência de distúrbios fisiológicos em manga, var. Tommy Atkins. *Scientia Agricola*, v.55, n.1, 1998.
- GOMES, M.L.P.A.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. Metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do mamão (Carica papaya L. cv. Solo): influência da radiação gama. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.19, n.2, 1999.